

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Ing. Michal Mardiak

Autoreferát dizertačnej práce
Kvalitatívne charakteristiky videa

na získanie akademického titulu doktor (philosophiae doctor, PhD.)
v doktorandskom študijnom programe: 5.2.15 Telekomunikácie

Bratislava, máj 2012

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme
doktorandského štúdia na Ústave telekomunikácií FEI STU v
Bratislave

Predkladateľ: **Ing. Michal Mardiak**
Ústav telekomunikácií FEI STU v Bratislave
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Školiteľ: **prof. Ing. Jaroslav Polec, PhD.**

Oponenti: **prof. Ing. Stanislav Marchevský, CSc.**
Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, FEI
TU v Košiciach

RNDr. Zuzana Černeková, PhD.
Katedra aplikovanej informatiky, FMFI UK v Bratislave

Autoreferát bol rozoslaný:

Obhajoba dizertačnej práce sa koná ...28.8.2012... o ...14:00... h.

na Ústave telekomunikácií FEI STU v Bratislave, v zasadacej
miestnosti Ústavu telekomunikácií, FEI STU, Ilkovičova 3, 812 19
Bratislava

.....
doc. RNDr. Gabriel Juhás, PhD.
dekan FEI STU Bratislava
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Obsah

1.	Úvod.....	4
2.	Prehľad súčasného stavu problematiky	4
2.1.	Subjektívne metódy merania kvality obrazu a video signálov	4
2.2.	Objektívne metódy merania kvality obrazu a video signálov	5
2.3.	Testovacie databázy.....	5
2.4.	Ďalšie zriedkavé objektívne metriky merania kvality	6
3.	Ciele dizertačnej práce	6
4.	Zvolená metóda merania kvality videosekvencie a obrazu	7
4.1.	Statické obrazy a videosekvencie na hodnotenie kvality ..	8
5.	Výsledky dizertačnej práce	10
6.	Konkrétne závery pre ďalší rozvoj vedy	11
7.	Riešené výskumné úlohy.....	12
8.	Publikácie autora	12
9.	Referencie	14
10.	Resumé – Kvalitatívne charakteristiky videa.....	19
11.	Resumé – Qualitative characteristics of video	20

1. Úvod

Komunikácia bola vždy veľmi dôležitou súčasťou ľudstva. Už od nepamäti sa ľudia snažili komunikovať medzi sebou a vymieňať si informácie. Od tej doby nastal neuveriteľný rozvoj techniky a tiež možností komunikácie. Dvadsiate storočie prinieslo mnoho vynálezov a inovácií. Jednou z najrozšírenejších a najpopulárnejších inovácií sa stalo video vo všetkých svojich variantoch ako sú kino, televízia, videokonferencia či e-learning. Video poskytuje informácie vo zvukovej forme aj v obrazovej forme, čím sa stáva komplexným zdrojom informácií, čo má za následok zvýšené nároky na jeho prenos a kvalitu. Kvalita sa stala dôležitou so zvyšujúcim sa počtom užívateľov videa. Je veľmi dôležité poskytovať dostatočnú kvalitu videa, aby boli uspokojené nároky užívateľov. Meranie kvality sa často uskutočňovalo na základe subjektívnych metód, ktoré poskytujú najhodnovernejšie výsledky [ITUR2002]. Tieto metódy sú však veľmi náročné na čas a na realizáciu (je nutné dosiahnuť štandardné podmienky pre pozorovanie a hodnotenie), a tak sa často využívajú objektívne metódy s dobrou koreláciou s výsledkami subjektívnych metód [ITUR2002, Wink2005a, Kawa2008, Ries2008].

Táto práca sa venuje problematike merania kvality videa a obrazov.

2. Prehľad súčasného stavu problematiky

2.1. Subjektívne metódy merania kvality obrazu a video signálov

Subjektívne metódy merania kvality obrazu a videa sú opísané v odporúčaní ITU-R BT.500-11 [ITUR2002], ktoré zahŕňa metódy vytvárajúce charakteristiku systému za ideálnych podmienok a hodnotenia schopnosti systému zachovať kvalitu pri neoptimálnych podmienkach súvisiacich s prenosom alebo s vysielaním. Sú tu opísané metriky ako dvojnásobne stimulová mierka zhoršenia (DSIS) či dvojnásobne stimulová kontinuálna mierka kvality (DSCQS). Odporúčanie ITU-T P.910 [ITUT1999] opisuje neinteraktívne subjektívne metódy merania kvality pre vyhodnotenie celkovej video kvality pre multimediálne aplikácie ako napr.: úplné kategorické hodnotenie so skrytou referenciou, úplné kategorické hodnotenie či kategorického hodnotenie degradácie.

2.2. Objektívne metódy merania kvality obrazu a video signálov

Objektívne metódy merania kvality obrazu a videa sa snažia priblížiť k hodnoteniam subjektívnych metód. Tieto metódy je možné rozdeliť na základe triedenia obrazových dát, či kategorizácie pixelov. Existujú aj metriky pre špeciálne poškodenia alebo metriky, ktoré sa len zriedkavo používajú na meranie kvality videa alebo obrazu.

Medzi metriky bez triedenia obrazových dát patria stredná kvadratická chyba [Avci2002], vrcholový odstup signál šum [Wink2005a], či Minkowského metriky [Avci2002].

Do skupiny metrick s jednoduchým triedením obrazových dát patria metriky ako VQM [Xiao 2000] a SSIM [Wang2004a]. Tieto metriky sú veľmi často používané na hodnotenie kvality [Dumi2009], [Vran2008b], [Yang2009], [Wang2004b] a metrika VQM bola štandardizovaná organizáciou ANSI [ANSI2003] a ITU-T [ITUR2004], [ITUT2004a]. Do tejto skupiny patria aj ďalšie metriky ako napríklad multiškálová SSIM [Wang2003].

Kategorizácia pixelov sa uskutočňuje pri metrikách 3SSIM [Li2010a] a 4SSIM [Li2010b] veľmi podobne. Najprv sa vypočíta mapa metriky SSIM a následne sú pixely priradené do regiónu hrán, regiónu hladkých povrchov, regiónu textúr a regiónu hrán zmenených v dôsledku poškodenia (iba v prípade metriky 4SSIM) na základe hodnoty gradientu magnitúdy. Potom sa jednotlivým regiónom záujmu priradia váhy a je vypočítaná výsledná metrika. Použitím algoritmu pre rozpoznávanie štyroch ROI boli vytvorené aj metriky 4-G-SSIM, 4-MS-SSIM a 4-MS-G-SSIM (príslušná metrika je vypočítaná v prvom kroku namiesto metriky SSIM) [Li2010b].

Priestorovo - časová kategorizácia pixelov je uskutočňovaná pri priestorovo - časovej SSIM (ST-SSIM) [Moor2010a]. Táto metrika je veľmi náročná na výpočet, ale poskytuje dobrú koreláciu s výsledkami subjektívnych metód.

Medzi metriky, ktoré sa zameriavajú na špeciálne poškodenia, patria napríklad metrika mihania jasu [Vato2002c], metrika merania rozostrenia [Vato2002b], metrika vynechaných snímok [Vato2002b], či metrika merania blokového efektu [Vato2002b].

2.3. Testovacie databázy

Testovacie databázy obsahujú obrazy a videá, ktoré zahŕňajú rozličné kompozície, objekty, farebné priestory či rozlíšenie tak, aby

pokrývali čo najväčšiu škálu. Použitie obrazov a videí z testovacích databáz umožňuje porovnať dosiahnuté výsledky s ostatnými metrikami. Testovacími obrazmi sa zaoberá odporúčanie ITU-T [ITUT1998] či firmami ako napr.: Kodak [Koda2010], Canon [Imag2012], inštitúcie ako Texaská univerzita [Live2012], Londýnska univerzita [Scho2011], Oklahomská univerzita [Lars2010], Medzinárodná štandardizačná organizácia (ISO) [Imag2012] či Inštitút pre výskum komunikácie a kybernetiky v Nantes [Nina2006].

2.4. Ďalšie zriedkavé objektívne metriky merania kvality

Existuje veľa objektívnych metrík založených na rozdielnych vlastnostiach, ktorých použitie pri meraní kvality videosekvencie alebo obrazu nie je príliš populárne ako napríklad korelačné metriky - momenty uhlov [Andr1998], metriky kvality hrán – Prattova metrika, metriky založené na vzdialenosti lokálnych histogramov - Kullback-Leibler odchýlka a Jeffrey odchýlka [Rubn2000], spektrálne vzdialenostné metriky - magnitúdové a fázové spektrum [Avci2002], modifikácie metrík na základe systému ľudského vnímania - HVS modifikácia spektrálneho skreslenia [Avci2002], či metriky založené na teórii informácie - vzájomná informácia [Gray2009], ktorá sa používa na hodnotenie kvality medicínskych obrazov [Mats2009], [Duyi2011], [Arma2009], [Plum2003] alebo na detekciu strihov vo videu [Cern2002].

3. Ciele dizertačnej práce

Na základe zhodnotenia súčasného stavu som si stanovil nasledovné ciele dizertačnej práce:

- 1) Návrh metódy merania kvality videosekvencie na základe vzájomnej informácie, ktorá bude zohľadňovať vplyv systému ľudského vnímania a význam regiónov záujmu na základe kategorizácie pixelov.
- 2) Modifikácia navrhutej metódy pre ďalšie zriedkavé objektívne metriky merania kvality.
- 3) Implementácia navrhutej objektívnej metódy merania, experimentálne overenie dosiahnutých výsledkov na statických obrazoch a videách a porovnanie výsledkov navrhutej metódy s výsledkami iných objektívnych a subjektívnych metód.

4. Zvolená metóda merania kvality videosekvencie a obrazu

Schéma zvoleného modelu je na obrázku 4.1, pričom tento model je určený na hodnotenie kódera alebo prenosovej cesty.



Obr. 4.1: Schéma zvoleného modelu

V sekvencii, ktorá je na vstupe do hodnoteného kódera alebo prenosovej cesty (referenčná sekvencia), je určený región záujmu. Určovanie regiónu záujmu je rozdelené do dvoch krokov. V prvom kroku sú vymedzené regióny záujmu. V zvolenom modeli na meranie kvality sú vymedzené tri alebo štyri regióny záujmu. Medzi regióny záujmu, ktoré sú vymedzené patria hrany, hladké povrchy a textúry. Intenzita jasu hrán predstavuje dôležitú informačnú časť obrazu, a preto má významný vplyv na vnímanú kvalitu obrazu [Li2010a]. Región hrán zmenených v dôsledku poškodenia obrazu sa určuje v prípade, ak sa vymedzuje aj štvrtý región záujmu. V druhom kroku sú vyextrahované príznaky na úrovni pixelov, t.j. jednotlivé pixely sú pridelené k daným regiónom záujmu. V nasledujúcom kroku je každý z týchto ROI spracovaný systémom ľudského vnímania. Systém ľudského vnímania predstavuje v tomto modeli váhovaciu masku. Na základe tejto masky sa jednotlivým regiónom záujmu priradia hodnoty váh tak, aby výsledky metriky čo najvernejšie odrážali subjektívne hodnotenia divákov. Obraz po vymedzení regiónov záujmu a po spracovaní pomocou HVS tvorí vstup pre zvolenú metriku. Sekvencia po dekódovaní je spracovaná rovnakým procesom, teda výberom ROI, extraktiou príznačkov a HVS čo tvorí druhý vstup pre metriku kvality videa. Ako metrika kvality videa bola zvolená vzájomná informácia.

V práci sú použité algoritmy na rozpoznávanie troch a štyroch ROI, ktoré boli implementované pri metrikách 3SSIM a 4SSIM. Algoritmus na rozpoznávanie troch ROI pozostáva z nasledovných krokov [Li2010a]:

1. Pre originálny a poškodený obraz je vypočítaný gradient magnítudy pomocou Sobelovho operátora.

2. V tomto kroku sa určia rozhodovacie prahy $T_1 = 0,12 \cdot g_m$ a $T_2 = 0,06 \cdot g_m$. Premenná g_m predstavuje maximálnu hodnotu gradientu magnitúdy pre referenčný obraz.
3. Jednotlivé pixely sú priradené regiónom záujmu, t.j. hranám, k hladkým povrchom a textúram podľa nasledovných podmienok:
 - Pixel $x(i, j)$ patrí medzi hrany, ak platí $g(i, j) > T_1$, alebo $\hat{g}(i, j) > T_2$.
 - Ak je splnená podmienka $g(i, j) < T_2$ alebo $\hat{g}(i, j) \leq T_1$, tak pixel $x(i, j)$ je považovaný za časť hladkého povrchu.
 - V prípade, ak nie je žiadna z podmienok splnená, tak pixel $x(i, j)$ patrí do textúrového regiónu.

Pre algoritmus na rozpoznávanie štyroch ROI sa zmenili podmienky nasledovne [Li2010b]:

- Ak $g(i, j) > T_1$ a súčasne $\hat{g}(i, j) > T_2$, tak pixel $x(i, j)$ je považovaný za hranu.
- Pixel patrí k hranám zmenením v dôsledku poškodenia obrazu, ak ($g(i, j) > T_1$ a súčasne $\hat{g}(i, j) \leq T_1$), alebo ($\hat{g}(i, j) > T_1$ a súčasne $g(i, j) \leq T_1$).
- Ak $g(i, j) < T_2$ a súčasne $\hat{g}(i, j) > T_1$, tak pixel je považovaný za časť hladkého povrchu.
- V prípade, ak žiadna z vyššie uvedených podmienok pre tento algoritmus nie je splnená, tak pixel patrí k regiónu textúr.

Premenná $g(i, j)$ je hodnota gradientu magnitúdy pre pixel z referenčného obrazu na pozícii (i, j) a $\hat{g}(i, j)$ predstavuje hodnotu gradientu magnitúdy pre pixel spracovaného obrazu s pozíciou (i, j) [Li2010a].

4.1. Statické obrazy a videosekvencie na hodnotenie kvality

Navrhnutá metóda bola overená najprv pre statické obrazy, aby sa preukázalo, či je vhodná na meranie kvality obrazu. V prípade, ak metrika bude vhodná na meranie kvality statických obrazov, bude použitá aj pre videosekvencie. Statické obrazy pre overenie metódy boli vybrané z dvoch sád.

Prvá sada statických obrazov bola vytvorená z desiatich obrazov rozdielnych tried, pričom boli vybrané obrazy všeobecne známe vo vedeckej literatúre, obrazy z obrazovej databázy firmy Kodak [Koda2010] či z Londýnskej univerzity [Scho2011] a Oklahomskej univerzity [Lars2010]. Päť z nich bolo čiernobielych a päť farebných. Prvá sada obsahuje celkovo 90 statických obrazov a bola hodnotená 17 divákmi.

Druhá sada obrazov bola vytvorená z IRCCyN/IVC databázy Inštitútu pre výskum kybernetických komunikácií v Nantes [Nina2006]. Obrazy boli poškodené rozmazaním, zmenou intenzity jasu pri JPEG kompresii, lokálne adaptívnym kódovaním rozlíšenia (LAR) a kompresiou do JPEG a JPEG2000 formátu. Z jednotlivých referenčných obrazov však neboli vytvorené všetky poškodenia, celkovo bolo použitých statických obrazov. Táto sada statických obrazov bola hodnotená 15 divákmi.

Pre overenie výsledkov navrhovanej metódy merania kvality bol vybraný aj súbor deviatich videosekvencií. Tieto sekvencie sú súčasťou Laboratória pre obrazové a video inžinierstvo (LIVE) Texaskej univerzity v Austine (The University of Texas at Austin) [Live2012]. Pre každú z deviatich referenčných videosekvencií bolo vytvorených osem modifikácií. Prvé štyri modifikácie boli vytvorené kóderom H.264 pri rozdielnych bitových rýchlostiach. Zvyšné štyri modifikované videosekvencie boli vytvorené MPEG-2 kóderom. Celkovo bolo na hodnotenie použitých 72 videosekvencií 38 divákmi ale len 29 z nich bolo považovaných za platných podľa odporúčania ITU-R BT.500-11 [ITUR2002].

Výsledky navrhovanej metódy boli porovnané s výsledkami subjektívnych metód. Pre lepšiu názornosť boli výsledky porovnané aj s inými často používanými objektívnymi metrikami. Korelácia medzi objektívnymi a subjektívnymi hodnoteniami bola vyjadrená prostredníctvom Pearsonoveho korelačného koeficientu a pri hodnotení videosekvencií aj Spearmanovým korelačným koeficientom. V tabuľke 4.1 sú uvedené výsledné Pearsonove korelačné koeficienty pre videosekvencie. Ako možno vidieť, metrika 4MI dosahuje vysoké hodnoty korelácie a podľa hodnoty priemerného umiestenia skončila lepšie ako metriky VQM, či 3SSIM a umiestnila sa hneď za metrikou SSIM. Úrovňou šede sú vyznačené prvé tri najlepšie metriky pri predikcii kvality.

Video	SSIM	VQM	3SSIM	4MI	4SCR	4ANGLE	4MOA	4CC
mc	- 0,950 4	0,9731	- 0,90 64	- 0,953 6	0,461 6	- 0,179 5	0,4534	- 0,295 7
pa	- 0,846 9	0,8130	- 0,85 49	- 0,952 7	- 0,110 3	- 0,371 4	0,8146	- 0,166 6
pr	- 0,974 7	0,8844	- 0,93 10	- 0,869 9	- 0,295 3	0,399 6	-0,4359	0,113 8
rb	- 0,972 6	0,9637	- 0,96 68	-0,97	- 0,830 3	0,971 2	-0,0103	- 0,233 6
rh	- 0,972 1	0,9617	- 0,93 99	- 0,978 4	0,444	- 0,185 8	0,4051	- 0,059 4
sf	- 0,684 3	0,5959	- 0,80 76	- 0,632 5	- 0,331 6	0,332 9	-0,3329	- 0,336 9
sh	- 0,893 5	0,9376	- 0,82 85	- 0,907 2	- 0,376 1	0,456 1	-0,2031	0,592 1
st	- 0,696 1	0,7343	- 0,39 29	- 0,430 9	0,172 1	0,074 7	0,1761	- 0,061 8
tr	- 0,979 2	0,9393	- 0,98	- 0,976 4	- 0,385 6	0,385 9	-0,3859	-0,386
priemer pozície	2,11	3,00	2,89	2,44	6,67	6,00	6,00	6,67

Tab. 4.1: Výsledné Pearsonove korelačné koeficienty pre objektívne metriky SSIM, 3SSIM, VQM, 4MI, 4SCR, 4ANGLE, 4MOA a 4CC vzhľadom na subjektívne hodnotenie.

5. Výsledky dizertačnej práce

Neexistuje univerzálna objektívna metóda, ktorá by bola schopná vyhodnotiť kvalitu videa, či statického obrazu ideálne bez ohľadu na obsah, poškodenie videa alebo obrazu. Dosiahnuté výsledky pre navrhnutú metódu ukazujú, že vzájomná informácia, ktorá zohľadňuje systém ľudského vnímania a význam regiónu záujmu je schopná poskytovať veľmi dobré výsledky pri meraní kvality videosekvencie, či statického obrazu.

Za pôvodné prínosy tejto práce považujem:

1) **Návrh metódy merania kvality videosekvencie na základe vzájomnej informácie, ktorá bude zohľadňovať vplyv systému ľudského vnímania a význam regiónov záujmu na základe kategorizácie pixelov.** Metóda využíva dva algoritmy na rozpoznávanie troch a štyroch dôležitých regiónov záujmu. Tieto algoritmy boli doteraz použité pre metriku SSIM a PSNR, ktoré boli použité na meranie kvality. Pre priblíženie hodnotenia kvality ľudskému vnímaniu je použitá váhová maska pre jednotlivé ROI.

2) **Modifikácia navrhutej metódy pre ďalšie zriedkavé objektívne metriky merania kvality.** Boli vybrané metriky: štrukturálny obsah, uhlová vzdialenosť, momenty uhlov a normalizovaná korelačná metrika. Aplikovanie jednoduchého algoritmu na rozpoznávanie ROI umožnilo pri niektorých videosekvenciách využiť tieto metriky na meranie kvality, keď dosiahli vysoké hodnoty Pearsonovej korelácie so subjektívnymi hodnotami. Avšak, takéto výsledky boli len veľmi zriedkavé, a teda štrukturálny obsah, uhlová vzdialenosť, momenty uhlov a normalizovaná korelačná nie sú vhodné ako metriky na meranie kvality videosekvencií.

3) **Implementácia navrhutej objektívnej metódy merania, experimentálne overenie dosiahnutých výsledkov na statických obrazoch a videách a porovnanie výsledkov navrhutej metódy s výsledkami iných objektívnych a subjektívnych metód.** Z výsledkov vidno, že aplikáciou jednotlivých algoritmov na určovanie ROI a váhovaním dosiahla vzájomná informácia veľmi dobré výsledky. V prípade statických obrazov, vzájomná informácia dosahovala vysoké hodnoty korelácie so subjektívnymi metódami pri vyhodnocovaní kvality obrazov podľa druhu vneseného poškodenia do obrazu. Aplikovaním algoritmu na rozpoznávanie štyroch ROI sa hodnotenie kvality väčšinou zlepšilo.

6. Konkrétne závery pre ďalší rozvoj vedy

Proces merania kvality videosekvencie je veľmi komplexná záležitosť.

Priradenie jednotlivých pixelov do ROI je v navrhutej metóde uskutočnené na základe maximálnej hodnoty gradientu magnitudy. Maximálna hodnota však môže byť dosiahnutá len v jednom bode, a teda môže skresľovať výsledok. Pre eliminovanie tejto skutočnosti,

by mohlo byť vhodné vychádzať pri určovaní prahov, napríklad z priemernej hodnoty gradientu magnitúdy.

Výpočet gradientu magnitúdy je realizovaný pomocou Sobelovho operátora. Sobelov operátor však nie je príliš vhodný na rozpoznávanie textúr v obraze či v snímke. Nahradením Sobelovho operátora niektorým z algoritmov pre segmentáciu textúr by bolo možné presnejšie detegovať textúry, a tým zlepšiť aj kvalitu predikcie pri videu či statickom obraze.

Pri budúcich výskumoch by bolo vhodné vytvoriť podobné modifikácie ako pre SSIM aj pre vzájomnú informáciu ako napr.: 4-MS-MI a porovnať dosiahnuté výsledky pri predikcii kvality s modifikáciami SSIM, či s navrhnutou metódou v tejto práci.

Ďalším vylepšením vzájomnej informácie by mohlo byť vytvorenie metriky, pri ktorej nie je nutné používať na výpočet referenčnú videosekvenciu alebo statický obraz, či vytvoriť časovo priestorovú modifikáciu vzájomnej informácie.

7. Riešené výskumné úlohy

1. VEGA 1/0883/08 - Inteligentná korekcia chýb pri prenose obrazovej informácie rádiovými kanálmi (2009-2010, riešiteľ)
2. VEGA 1/0214/10 - Návrh metód analýzy a klasifikácie pre biometrické rozpoznávanie obrazov ľudských tvárí a prevádzku komunikačných sietí (2010-2011, riešiteľ)
3. VEGA 1/0602/11 - Optimalizácia efektívnosti kódovania videa pre prenos a záznam (2011-2012, riešiteľ)

8. Publikácie autora

Vedecké práce v zahraničných nekarentovaných časopisoch

- [1] Filanová, J., Mardiak, M.: Meranie kvality video signálu. In: Elektrov revue, vol 15, 2010, no.2010/32, pp. 32.1-6.
- [2] Mardiak, M., Polec, J.: The content based objective metrics for video quality evaluation Shape Error Concealment for Shape Independent Transform Coding. In: World Academy of Science, Engineering and Technology, 2012, p. 6.(v tlači)
- [3] Mardiak, M., Polec, J.: Objective video quality method based on mutual information and Human Visual System. In: International Journal of Electronics and Telecommunications, 2012, p. 5.(v tlači)

Vedecké práce v domácich nekarentovaných časopisoch

- [4] Mardiak, M., Filanová, J.: Služba videokonferencia a meranie kvality videokonferencie. In: EE časopis pre elektrotechniku a energetiku, vol. 13, 2007, no 2007, pp. 160-162.

Vedecké práce v zahraničných recenzovaných vedeckých zborníkoch, monografiách

- [5] Krulikovská, L., Mardiak, M. et al.: Video Analysis Based on Mutual Information. In: Lecture Notes in Computer Science, vol. 6375/2010, 2010, pp. 73-80.

Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

- [6] Mardiak, M., Polec, J.: Novel Method for Objectively Measuring Video Quality. In: Proceedings ELMAR-2010: 52nd International Symposium ELMAR-2010. Zadar: 2010, s. 109-112.
- [7] Mardiak, M., Polec, J.: Objective Video Quality Metric Based on Mutual Information and Human Visual System. In: SPS 2011 Proceedings: Signal Processing Symposium. Jachranka Village: Institute of Electronic Systems, 2011
- [8] Mardiak, M., Filanová, J.: Quality of a Video Signal. In: New Information and Multimedia Technologies. Brno: 2008, s. 33-37.

Citované:

1. Chromý, E., Mišuth, T.: The Erlang Formulas and Traffic Description in Contact Centers. In: RTT 2009 Research in Telecommunication Technology : 11th International Conference. Srby: 2009.
2. Beniák, M., Pavlovičová, J., Oravec, M.: 3D Chrominance Histogram Based Face Localisation. In: International Journal of Signal and Imaging Systems Engineering, vol. 4, 2011, no.1, s. 3-12.
3. Pintér, A., Pavlovičová, J., Beniák, M.: Binary and Grayscale Morphology in Image Enhancement. In: Redžúr 2009 : 3rd International Workshop on Speech and Signal Processing. Bratislava: 2009.
4. Féder, M., Ban, J. Oravec, M.: Experiments with Selected Machine Learning Methods for Biometric Face Recognition. In: Redžúr 2009 : 3rd International Workshop on Speech and Signal Processing. Bratislava: 2009, s. 28-33.
5. Pintér, A., Pavlovičová, J.: Grayscale Morphology for Handwritten Bank Checks Enhancement. In: Redžúr 2010 : 4th International Workshop on Speech and Signal Processing. Bratislava: 2010, s. 48-51.

6. Sigeťi, P., Oravec, M.: Simulation of Video Transmission over IEEE 802.11g LAN. In: Redžúr 2010 : 4th International Workshop on Speech and Signal Processing. Bratislava: 2010, s. 26-31.

Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách

- [9] Mardiak, M., Polec, J.: Application of mutual information in objectively evaluating video quality. In: REDZUR: 4th International Workshop on Speech and Signal Processing. Bratislava: 2010, s. 2-5.
- [10] Mardiak, M., Polec, J.: Improving video quality evaluation by mutual information. In: REDZUR: 5th International Workshop on Speech and Signal Processing. Bratislava: 2011, s. 9-12.
- [11] Mardiak, M., Polec, J.: Objective Video Quality Assessment Based on Mutual Information. In: ELITECH'10: 12th Conference of Doctoral Students. Bratislava: 2010, s. 1-5.
- [12] Mardiak, M., Polec, J.: Novel approach in objective video quality measuring. In: ELITECH'11: 13th Conference of Doctoral Students. Bratislava: 2011, s. 1-6.
- [13] Mardiak, M., Polec, J.: Three-component video quality assesment model. In: ELITECH'12: 14th Conference of Doctoral Students. Bratislava: 2012, s. 1-7.

9. Referencie

- [Alan2002] Al-Ani, A., Deriche, M.: Feature selection using a mutual information based measure. In: 16th International Conference on Pattern Recognition. Quebec, Kanada, 2002, s. 82- 85.
- [Andr1998] Androutsos, D. et al.: Distance measures for color image retrieval. In: International Conference on Image Processing. Chicago, IL, 1998, s.770-774.
- [ANSI2003] ANSI T1.801.03: 2003, American National Standard for Telecommunications – Digital transport of one-way video signals – Parameters for objective performance assessment.
- [Arma2009] Armato, S. G. 3rd. et al.: Temporal subtraction in chest radiography: mutual information as a measure of image quality. In: Med Phys, vol. 36, 2009, no.12, pp. 5675-82.
- [Avci2002] Avcibař, I. et al.: Statistical evaluation of image quality measures. In: Journal of Electronic Imaging, vol. 11, 2002, no.2, pp. 206-223.
- [Cern2009] Āernekova, Z.: Āasov segmentcia videa a sumarizcia videa. Bratislava: FMFI UK, 2009. 119 s. Dizertan prca.

- [Devi2005] De Vito, F., De Martin, J.C.: PSNR control for GOP-level constant quality in H.264 video coding. In: Signal Processing and Information Technology. Atény, Grécko, 2005, s. 612-617.
- [Dumi2009] Dumić, E. et al.: Comparison of Dirac and H.264/AVC Coding Quality Using Objective Video Quality Measures. In: Systems, Signals and Image Processing. Chalkida, Grécko, 2009, s. 1-4.
- [Duyi2011] Du-Yih, T. et al.: Quantitative images quality evaluation of digital medical imaging systems using mutual information. In: 4th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI). Shanghai, Čína, 2011, s. 1515-1519.
- [Fres1997] Frese, T. et al.: Methodology for designing image similarity metrics based on human visual system models. In: Proc. SPIE IS&T Conf. on Human Vision and Electronic Imaging II. San Jose, USA, 1997, s. 472-483.
- [Furh2008] Furht, B.: Encyclopedia of Multimedia. 2. vyd. 2008. ISBN: 978-0-387-74724-8.
- [Gray2009] Gray, R. M.: Entropy and information theory. 1. vyd. New York : Springer-Verlag, 2009, 291 s. ISBN 0387973710.
- [Huyn2008] Huynh-Thu, Q. et al.: Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment. In: Electronics Letters, vol. 44, 2008, no.13, pp.800-801.
- [Chos2007] Cho, S. et al.: Image quality evaluation: JPEG2000 versus Intra-only H.264/AVC High Profil. In: Elec. Energ., vol. 20, 2007, no. 1, pp. 71-83.
- [Imag2012] Imaging Resource. 2012. Stránka zaoberajúca sa kvalitou obrazu.
<http://www.imaging-resource.com/PRODS/EOS1DS/E1DSPICS.HTM>
- [ITUR1995] ITU-R Recommendation BT.500-7: 1995: Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures.
- [ITUR2002] ITU-R BT.500-11: 2002, Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures.
- [ITUR2004] ITU-R Recommendation BT.1683: 2004, Objective perceptual video quality measurement techniques for standard definition digital broadcast television in the presence of a full reference.
- [ITUT1998] ITU-T T.24: 1998, Standardized digitized image set.
- [ITUT1999] ITU-T P.910: 1999, Subjective video quality assessment methods for multimedia applications.
- [ITUT2004a] ITU-T Recommendation J.144: 2004, Objective perceptual video quality measurement techniques for digital cable television in the presence of a full reference.
- [ITUT2004b] ITU-T Recommendation J.149: 2004, Method for specifying accuracy and cross-calibration of video quality metrics (VQM).

- [ITUT2009a] ITU-T Draft New Recommendation J.rs-psnr: 2009, Reference Algorithm for Computing Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) of a Processed Video Sequence with Constant Spatial Shifts and a Constant Delay.
- [ITUT2009b] ITU-T Draft New Recommendation J.redref: 2009, Perceptual video quality measurement techniques for digital cable television in the presence of a reduced reference.
- [Koda2010] Kodak Lossless True Color Image Suite. 2010. <http://r0k.us/graphics/kodak/>
- [Lars2010] Larson, E.C, Chandler, D.M.: Most apparent distortion: full-reference image quality assessment and the role of strategy. In: Journal of Electronic Imaging, vol. 19, 2010, no. 1, pp. 011006-1-011006-21.
- [Li2010a] Li, Ch., Bovik, A.C.: Content-weighted video quality assessment using a three-component image model. In: Journal of Electronic Imaging, vol. 19, 2010, no.1, pp. 011003-1-011003-9.
- [Li2010b] Li, Ch., Bovik, A.C.: Content-partitioned structural similarity index for image quality assessment. In: Signal Processing Image Communication, vol. 25, 2010, no.7, pp. 517-526.
- [Live2012] Laboratory for Image and Video Engineering (LIVE). 2012. <http://live.ece.utexas.edu/>
- [Mats2009] Matsuyama, E. et al.: Mutual information-based evaluation of image quality with its preliminary application to assessment of medical imaging systems. In: SPIE Human Vision and Electronic Imaging, vol.18, 2009, no.3.
- [Moor2010a] Moorthy, A. K., Bovik: Efficient motion weighted spatio-temporal video SSIM index. In: SPIE Conference on Human Vision and Electronic Imaging. San Jose, USA, 2010, s. 1-9.
- [Moor2010b] Moorthy, A. K., Bovik, A. C.: A Two-Step Framework for Constructing Blind Image Quality Indices. In: IEEE Signal Processing Letters, vol. 17, no.5, 2010, pp. 513-516.
- [Nina2006] Ninassi, A. et al.: Pseudo No Reference image quality metric using perceptual data hiding. In: SPIE Human Vision and Electronic Imaging, vol. 6057-08, 2006.
- [Nish2008] Nishikawa, K. et al.: No-Reference PSNR Estimation for Quality Monitoring of Motion JPEG2000 Video Over Lossy Packet Networks. In: IEEE Transactions on Multimedia, vol.10, 2008, no.4, pp. 637-645.
- [Pace2010] Pace, P. et al.: Eavesdropping wireless video packets to improve standard multicast transmission in Wi-Fi networks. In: IEEE International Symposium on Wireless Pervasive Computing (ISWPC). Modena, Taliansko, 2010, s. 471-476.

- [Pins2008] Pinson, M. H., Wolf, S.: Techniques for Evaluating Objective Video Quality Models Using Overlapping Subjective Data Sets. Technical Report TR-09-457, NTIA, Springfield, 2008.
- [Plum2003] Plum, J.P.W. et al.: Mutual-information-based registration of medical images: a survey. In: IEEE Transactions on Medical Imaging, vol. 22, 2003, no.8, pp. 986-1004..
- [Raha2009] Rahayu, F.N. et al.: Analysis of SSIM performance for Digital Cinema applications. In: Quality of Multimedia Experience. San Diego, USA, 2009, s.23-28.
- [Ries2008] Ries, M. et al.: Video quality estimation for mobile H.264/AVC video streaming. In: Journal of Communications, vol.3, 2008, no.1, pp. 41-50.
- [Rubn2000] Rubner, Y. et al.: The earth mover's distance as a metric for image retrieval. In: International Journal of Computer Vision, vol. 40, 2000, no.2, pp. 99-121.
- [Sesh2010a] Seshadrinathan, K. et al.: Study of Subjective and Objective Quality Assessment of Video. In: IEEE Transactions on Image Processing, vol.19, no.6, 2010, pp.1427-1441.
- [Sesh2010b] Seshadrinathan, K. et al.: A Subjective Study to Evaluate Video Quality Assessment Algorithms. In: SPIE Proceedings Human Vision and Electronic Imaging. San Jose, USA, 2010.
- [Shen2006] Shen, X.J., Wang, Z.F.: Feature selection for image retrieval. In: Electronics Letters, vol.42, 2006, no.6, pp. 337- 338.
- [Scho2011] School of Electronic Engineering and Computer Science, University of London. 2011. Osobná stránka Pengwei Hao, Ph.D.
<http://www.eecs.qmul.ac.uk/~phao/CIP/Images/>
- [Sooch2001] Soo-Chul, H., Podilchuk, C.I.: Video compression with dense motion fields. In: IEEE Transactions on Image Processing, vol. 10, 2001, no.11, pp. 1605-1612.
- [Swai1991] Swain, M. J., Ballard, D. H.: Color Indexing. In: International Journal of Computer Vision, vol. 7, 1991, no.1, pp. 11-32.
- [Thev2000] The Video Quality Experts Group (VQEG): Final report from the video quality experts group on the validation of objective models of video quality assessment. 2000.
- [Thev2003] The Video Quality Experts Group (VQEG): Final report from the video quality experts group on the validation of objective quality metrics for video quality assessment, phase II. 2003.
- [Thev2009] The Video Quality Experts Group (VQEG): Final report from the video quality experts group on the validation of reduced-reference and no-reference objective models for standard definition television, phase I. 2009.

- [Trah1996] Trahanias, P.E. et al.: Directional processing of color images: theory and experimental results. In: IEEE Transactions on Image Processing, vol.5, 1996, no.6, pp.868-880.
- [Vato2002b] Vatolin, Dmitriy et al. 2002: MSU Quality Measurement Tool: Metrics information.
http://compression.ru/video/quality_measure/info_en.html
- [Vato2002c] Vatolin, Dmitriy et al. 2002: Brightness Flicking Metric.
http://compression.ru/video/quality_measure/metric_plugins/bfm_en.htm
- [Vran2008b] Vranjes, M. et al.: Subjective and objective quality evaluation of the H.264/AVC coded video. In: 15th International Conference on Systems, Signals and Image Processing. Bratislava, Slovenská republika, 2008, s.287-290.
- [Wang2003] Wang, Z. et al.: Multi-scale structural similarity for image quality assessment. In: Proceedings of the 37th IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. Pacific Grove, USA, 2003, s. 1398-1402.
- [Wang2004a] Wang, Z. et al.: Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural. In: IEEE Transactions on image prcessing, vol. 13, 2004, no. 4, pp. 600-612.
- [Wang2004b] Wang, Z. et al.: Video quality assessment based on structural distortion measurement. In: Signal Processing: Image Communication, vol. 19, 2004, no.1, pp. 1-9.
- [Wang2010] Wang, S. et al.: SSIM based perceptual distortion rate optimization coding. In: SPIE Visual Communications and Image Processing. Huangshan, China, 2010, s. 774407-774407-8.
- [Wink2005a] Winkler, S.: Digital video quality vision model and metrics. 1. vyd. Chichester : John Wiley & Sons Ltd., 2005. ISBN 0-470-02404-6
- [Wink2005b] Winkler, S. et al.: Audiovisual quality evaluation of low-bitrate video. In: Proc. SPIE Human Vision and Electronic Imaging. San Jose, USA, 2005, s. 139-148.
- [Xiao2000] Xiao, Feng. 2000. DCT-based Video Quality Evaluation.
http://compression.ru/video/quality_measure/vqm.pdf
- [Xueh2006] Xuehui, W. et al.: An Image Quality Estimation Model Based on HVS. In: IEEE Region 10 Conference TENCON 2006. Hong Kong, Čína, 2006, s. 1-4.
- [Yang2009] Yang, CH.-L. et al.: An SSIM-optimal H.264/AVC inter frame encoder. In: IEEE International Intelligent Computing and Intelligent Systems. Shanghai, Čína, 2009, s.291-295.
- [Yubi2009] Yubing, W. et al.: Modeling RPS and Evaluating Video Repair With VQM. In: Multimedia, IEEE Transactions, vol.11, 2009, no.1, pp.128-137.

10. Resumé – Kvalitatívne charakteristiky videa

Práca sa zoberá kvalitatívnymi charakteristikami videa. Opisuje subjektívne a objektívne metódy hodnotenia kvality so zameraním sa na objektívne metódy hodnotenia kvality. Sú v nej uvedené veľmi často využívané objektívne metriky kvality ako aj metriky zriedkavo používané na hodnotenie kvality videa. Uvádza výhody, či nevýhody jednotlivých metrík a ich využitie v súčasnosti. Venuje sa aj výberu vhodných videosekvencií, či statických obrazov pre meranie kvality, dostupným programom pre merania objektívneho a subjektívneho hodnotenia kvality s popisom ich základných vlastností.

Druhá časť práce sa venuje návrhu a implementácii novej objektívnej metódy na meranie kvality videosekvencie a obrazu, ktorá berie do úvahy systém ľudského vnímania (HVS) a umožňuje rozpoznať rozličné regióny záujmu (ROI). Ako kritérium pre hodnotenie kvality bola zvolená metrika vzájomnej informácie. Rozličné regióny záujmu boli určené na základe dvoch algoritmov do troch alebo štyroch ROI t.j.: hrany, hladký región, región textúr a región hrán zmenených v dôsledku poškodenia (pri algoritme so štyrmi ROI). HVS bol simulovaný pomocou váhovej masky, ktorá priradila každému ROI rozličnú váhu tak, aby výsledok čo najviac zodpovedal vnímaniu kvality pomocou HVS. Navrhnutá metóda bola otestovaná na dvoch sadách statických obrazov a sade videosekvencií. Následne boli výsledky porovnané so subjektívnymi hodnoteniami, ako aj s hodnoteniami iných objektívnych metód. Dosiiahnuté výsledky preukázali, že navrhnutá objektívna metóda merania kvality je schopná poskytovať veľmi dobré výsledky.

Za prínos práce považujem:

- Návrh metódy merania kvality videosekvencie na základe vzájomnej informácie, ktorá zohľadňuje vplyv systému ľudského vnímania a význam regiónov záujmu na základe kategorizácie pixelov. Metóda využíva dva algoritmy na rozpoznávanie troch a štyroch dôležitých regiónov záujmu.
- Modifikácia navrhutej metódy pre ďalšie zriedkavé objektívne metriky merania kvality a to: štruktúrny obsah, uhlová vzdialenosť, momenty uhlov a normalizovaná korelačná metrika.
- Implementácia navrhutej objektívnej metódy merania, experimentálne overenie dosiahnutých výsledkov na statických obrazoch a videách a porovnanie výsledkov navrhutej metódy s výsledkami iných objektívnych a subjektívnych metód.

11. Resumé – Qualitative characteristics of video

This thesis deals with qualitative characteristics of video. It describes subjective methods and objective methods for evaluating the quality of video and images. The thesis is focused on objective methods for quality evaluation. It describes well-known objective metrics with their utilization as well as objective metrics which are not commonly used for evaluation of video quality. It includes a review of current trends in objective quality evaluation and a description of available software for quality evaluation.

The second part deals with designing and implementation of the new model for objective quality assessment which contains a human visual system (HVS) and various regions of interest (ROI). Mutual information was selected as a proper metric for evaluation of quality. To recognize ROIs, the sequence or image was preprocessed by the algorithms assigning pixels to three or four different ROIs: edges, smooth region, textures and region of edges changed by impairments (in case the fourth ROI is recognized). HVS was simulated by the weighting mask which assigns to pixels different weights according to human perception of quality. The newly proposed method was tested on different sets of image databases and the video database. The results show that the newly proposed method provides sufficient quality evaluation and very good correlation with the subjective results. It is even better than some of the reference objective metrics used for comparison.

In conclusion, the main outcomes of this thesis are the following results:

- Design of a new method for quality evaluation of video based on mutual information with ROI recognition and simulation of the human visual system. Two different algorithms for recognition of three and four ROIs were used.
- Modifications of the proposed method for objective metrics which are not commonly used for video quality evaluation, i.e. moment of angle, angular distance, normalized correlation measure and structural content.
- Implementation of the proposed method and comparison of its results with results of other well-known objective metrics and subjective methods of evaluation of video quality.